

Onde gravitazionali rilevate 100 anni dopo la previsione di Einstein

Con l'osservazione di onde gravitazionali emesse dalla collisione di buchi neri, LIGO apre una nuova finestra sull'Universo - Contributi chiave da parte della Max Planck Society e di ricercatori della Leibniz Universität di Hannover

Per la prima volta gli scienziati hanno osservato increspature nel tessuto dello spazio-tempo, chiamate onde gravitazionali, giunte sulla Terra da un violento evento nel lontano universo. Questo conferma un'importante previsione, risalente al 1915, della teoria della relatività generale di Albert Einstein ed apre una nuova finestra sul cosmo.

Le onde gravitazionali trasportano informazioni sulla loro drammatica origine e sulla natura della gravità non ottenibili altrimenti. I fisici hanno concluso che le onde gravitazionali rilevate sono state prodotte durante gli ultimi attimi della fusione di due buchi neri, seguita dalla formazione di un singolo buco nero più massiccio e rotante. La collisione di due buchi neri era un fenomeno previsto, ma mai osservato prima. Le onde gravitazionali sono state registrate il 14 settembre 2015 alle 05:51 Eastern Daylight Time (09:51 UTC) da entrambi i rivelatori di LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), che si trovano a Livingston (in Louisiana) e a Hanford (nello stato di Washington), negli Stati Uniti d'America. Gli osservatori di LIGO sono finanziati dalla National Science Foundation (NSF) e sono stati progettati, costruiti e sono gestiti da Caltech e MIT. La scoperta, accettata per la pubblicazione sulla rivista *Physical Review Letters*, è stata fatta dalla Collaborazione Scientifica LIGO (che include la Collaborazione GEO e l'Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) e dalla Virgo Collaboration utilizzando i dati provenienti dai due rivelatori di LIGO.

I ricercatori dell'Istituto di Fisica Gravitazionale Max Planck (Albert Einstein Institute - AEI) di Hannover e Potsdam, in Germania, e dell'Istituto di Fisica Gravitazionale della Leibniz Universität di Hannover (LUH) sono stati determinanti per la scoperta in diversi settori chiave: sviluppo e funzionamento dei sensibilissimi rivelatori, spinti ai limiti della fisica, metodi per l'efficiente analisi dei dati su supercomputers, e modelli di forma d'onda estremamente precisi per rilevare il segnale ed estrarre da esso informazioni astrofisiche.

Tecniche per rivelatori avanzati da GEO600

La collaborazione GEO comprende ricercatori dell'Istituto Max Planck e della Leibniz Universität, insieme a colleghi del Regno Unito. I ricercatori hanno progettato e gestito il rivelatore di onde gravitazionali GEO600, nei pressi di Hannover, in Germania. GEO600 è usato come think tank e banco di prova per rivelatori di nuova generazione. La maggior parte delle tecnologie chiave che hanno contribuito alla sensibilità senza precedenti di Advanced LIGO (aLIGO) e che hanno permesso la scoperta sono stati sviluppati e testati nell'ambito della collaborazione GEO. Alcuni esempi sono il riciclaggio del segnale, l'estrazione della sideband di risonanza e le sospensioni monolitiche per gli specchi. Ricercatori dell'AEI insieme al Laser Zentrum di Hannover hanno anche sviluppato e installato i sistemi laser ad alta potenza di aLIGO, che sono cruciali per misurazioni ad alta precisione.

"Gli scienziati sono alla ricerca di onde gravitazionali da decenni, ma solo ora siamo stati in grado di avere le tecnologie necessarie per raccogliere questi echi molto, molto deboli che provengono da tutto l'Universo", dice il Prof. Karsten Danzmann, direttore dell'Istituto di Fisica Gravitazionale Max Planck di Hannover e direttore dell'Istituto di Fisica Gravitazionale della Leibniz Universität di Hannover. "Questa scoperta non sarebbe stata possibile senza gli sforzi e le tecnologie sviluppate dagli scienziati del Max Planck, della Leibniz Universität e dai colleghi britannici all'interno della collaborazione GEO".

Potenza di calcolo e metodi di analisi per la scoperta

Scienziati dell'Istituto Max Planck hanno sviluppato ed implementato metodi di analisi dei dati avanzati ed efficienti per la ricerca dei deboli segnali delle onde gravitazionali nei dati di aLIGO ed hanno condotto la maggior parte delle analisi finali. Inoltre, la maggior parte delle risorse computazionali per la scoperta e l'analisi dei dati per aLIGO sono stati forniti da Atlas, il più potente supercomputer al mondo progettato per l'analisi dei dati di onde gravitazionali, gestito dall'AEI. Atlas ha fornito più di 24 milioni di CPU hours per l'analisi dei dati di Advanced LIGO.

"Sono fiero che i primi due scienziati ad aver osservato il segnale fossero dell'Istituto Max Planck per la Fisica Gravitazionale e che il nostro Istituto abbia svolto un ruolo di primo piano in questa eccitante scoperta", dice il Prof. Bruce Allen, direttore presso l'Istituto Max Planck per la Fisica Gravitazionale di Hannover. "Einstein stesso credeva che le onde gravitazionali fossero troppo deboli per essere rilevate e non credeva nei buchi neri. Ma non penso che gli sarebbe spiaciuto aver torto!"

Modelli accurati di onde gravitazionali aprono la strada all'osservazione della collisione di buchi neri

Ricercatori del Max Planck hanno sviluppato modelli altamente accurati delle onde gravitazionali che coppie di buchi neri generano nelle fasi finali del processo di orbitare e collidere l'uno con l'altro. Questi modelli di forme d'onda sono stati implementati ed utilizzati negli algoritmi di ricerca di collisioni di binarie compatte nei dati di LIGO. E' proprio grazie a questi modelli che gli algoritmi di ricerca di onde gravitazionali hanno potuto osservare la fusione di due buchi neri (conosciuto come GW150914) con un livello di confidenza superiore a 5-sigma. Gli scienziati del Max Planck hanno utilizzato gli stessi modelli di forma d'onda per dedurre i parametri astrofisici della sorgente, come le masse ed il momento angolare dei due buchi neri, l'orientamento della binaria e la sua distanza dalla Terra, la massa ed il momento angolare dell'enorme buco nero che la collisione ha prodotto. I modelli di forme d'onda sono stati utilizzati anche per verificare se GW150914 è consistente con le previsioni della relatività generale.

"Abbiamo passato anni a modellizzare l'emissione di onde gravitazionali da uno degli eventi più estremi dell'Universo: coppie di buchi neri che orbita l'un l'altro che collidono. E questo è esattamente il tipo di segnale che è stato rilevato! ", dice la Prof. Alessandra Buonanno, direttore presso l'Istituto Max Planck per la Fisica Gravitazionale di Potsdam. "E' sconvolgente vedere come la teoria della relatività di Einstein descriva correttamente la realtà. GW150914 ci dà l'incredibile opportunità di vedere come la gravità operi nelle condizioni più estreme possibili."

La ricerca legata a LIGO è svolta dalla Collaborazione Scientifica LIGO (LSC), un gruppo di più di 1000 scienziati provenienti da università degli Stati Uniti e di altri 14 Paesi. Più di 90 università e istituti di ricerca nell'LSC sviluppano la tecnologia del rivelatore ed analizzano i dati; circa 250 sono gli studenti membri delle collaborazioni che danno importanti contributi. La rete di rilevatori dell'LSC include gli interferometri LIGO e il rivelatore GEO600. Il team GEO include scienziati dell'Istituto Max Planck per la Fisica Gravitazionale (Albert Einstein Institute - AEI), della Leibniz Universität di Hannover, insieme con i partner presso l'Università di Glasgow, l'Università di Cardiff, l'Università di Birmingham, altre università nel Regno Unito, e l'Università delle Isole Baleari in Spagna.

LIGO è stato originariamente proposto come un mezzo per rilevare onde gravitazionali nel 1980 di Rainer Weiss, Professore di fisica emerito dell'MIT; Kip Thorne, Professore "Richard P. Feynman" di Fisica Teorica emerito del Caltech; e Ronald Drever, Professore di fisica emerito del Caltech.

La ricerca di Virgo è condotta dalla collaborazione Virgo, composta da più di 250 fisici ed ingegneri appartenenti a 19 diversi gruppi di ricerca europei: 6 dal Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) in Francia; 8 presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) in Italia; 2 in Olanda con Nikhef; il Wigner RCP in Ungheria; il gruppo POLGRAW in Polonia e l'Osservatorio europeo Gravitazionale (EGO), il laboratorio che ospita il rivelatore Virgo nei pressi di Pisa, in Italia.

La scoperta è stata resa possibile dalle migliori caratteristiche di Advanced LIGO, un importante aggiornamento che aumenta la sensibilità degli strumenti rispetto ai rivelatori LIGO di prima generazione, che permette un notevole aumento del volume dell'universo sondato e la scoperta delle onde gravitazionali durante il suo primo periodo di raccolta dati. La National Science Foundation degli Stati Uniti rappresenta il principale ente finanziatore di Advanced LIGO. Enti finanziatori in Germania (Max Planck Society), nel Regno Unito (Science and Technology Facilities Council, STFC) e in Australia (Australian Research Council) hanno avuto un significativo coinvolgimento nel progetto. Molte delle tecnologie chiave che hanno reso Advanced LIGO così sensibile sono state sviluppate e testate dalla collaborazione tedesca/britannica GEO. Significative risorse computazionali sono state offerte dal supercomputer Atlas dell'AEI di Hannover, dal LIGO Lab, dalla Syracuse University e dalla University of Wisconsin-Milwaukee. Diverse università hanno progettato, costruito, testato componenti chiave per Advanced LIGO: l'Australian National University, l'Università di Adelaide, l'Università della Florida, la Stanford University, la Columbia University di New York e la Louisiana State University.